

鉄道橋騒音予測における SEA パラメータ推定に関する研究

環境防災研究室 筒井 貴史
指導教官 宮木 康幸

1. はじめに

鉄道橋を列車が走行する際に発生する騒音は、大別すると走行音と固体音(構造物音)に分けられる。鉄道橋騒音においては特に鋼橋の場合、この固体音が卓越する。

この固体音の騒音予測の手法として、中高周波数域の計算を得意とする統計的エネルギー解析法(以下 SEA 法)を用いて解析を行ってきた。

昨年度の研究では、軌道部分の実測の振動加速度値から振動の透過損失率を算出し、その損失率から SEA 法における支配的なパラメータの一つ、結合損失率を求め防振材の評価を行った。しかし本来ならば、可能な限り実測値に依存しない騒音解析が望ましいことは明らかである。

そこで本研究は、SEA 法において実測値によらない SEA パラメータの推定法を提案する。それにより、防振材の評価を行い、SEA 法の汎用性の向上を目的とする。SEA パラメータ推定には、軌道部 FEM モデルを用いて算出する方法(以下 FEM-SEA)を用いた。

2. SEA 法の概要

SEA 法では振動、音響をエネルギーという統一量で表す。解析対象である構造物は有限要素法に比べて比較的少数な要素(SEA 法ではサブシステム)に分割され、そのサブシステム内の損失パワー、サブシステム間の伝達パワー、サブシステム外からの入力パワーの平衡関係から伝達を計算する。結果として、ある周波数帯域の振動速度、音圧が求まるものである。

SEA 法の計算式に含まれる支配的なパラメータの算出には、複雑な解析が必要であり、現在でも新しいモデルによる解析がなされている。本研究では以下の理論式により表される要素間の結

合損失率に着目した。

$$\eta = \frac{C_{gi} L_c \tau}{\pi \omega S} \quad (1)$$

C_{gi} : 曲げ波の群速度 L_c : 結合長さ

τ : エネルギー透過率

この結合損失率 η は、パワーがサブシステム間を伝達するときの損失を表す係数であり、結合部のエネルギー透過率 τ の関数となっている。また τ の推定は SEA 法の計算精度に大きな影響を与える。

3. SEA パラメータ推定法

前節で述べたとおりパラメータの算出には複雑な解析が必要とされている。しかし B. Cimerman らはサブシステム $i \sim j$ 間の結合損失係数 η_{ij} を、サブシステムの二乗空間平均速度と等価質量とで表される時間平均総エネルギー E_{ij} により、非常に単純化された式で表せるとしている。

しかしこの方法では全サブシステムの平均速度と等価質量を測定しなければならない。そのため、実橋への適用を考えると、防振ゴムなどの防振材の減衰効果を予測することは難しい。

そこで防振材の防振効果を、FEM により求めた振動伝達率で推定する。

軌道部 FEM モデルにより得られたレールと床版の加速度を α_{rail} 、 α_{slab} とすると、軌道部全体の振動伝達率 τ は

$$\tau = \frac{\alpha_{slab}}{\alpha_{rail}} \quad (2)$$

となる。この振動伝達率は振動エネルギーの透過損失を表すので、エネルギー透過率として SEA 法に用いた。

4. 軌道部 FEM モデル

軌道部分の振動特性を把握するため、軌道部の

FEM モデルを作成した。モデルは長手方向を考慮しない(以下 2DFEM-SEA)方法と、3次元の長手方向を考慮する(以下 3DFEM-SEA)の 2種類とした。

4.1 2次元モデル

下の図 1 に、2次元平面ひずみ要素による軌道断面のモデル図を示す。要素タイプは、奥行き方向に同じ形状になっているとして 8 節点平面ひずみ要素を用いた。節点数、要素数はそれぞれ 285,897 とした。

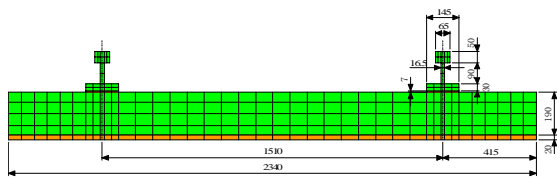


図 1 2次元 FEM モデル

4.2 3次元モデル

図 2 に、3次元軌道モデル図を示す。要素タイプは、レールをビーム要素、レールパット・スラブパットをスプリング要素、コンクリートスラブをプレート要素とした。節点数、要素数はそれぞれ 663, 657 とした。

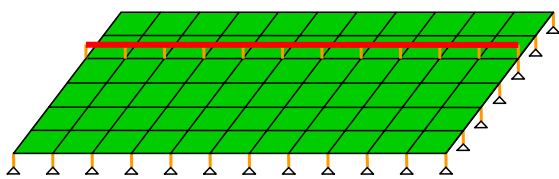


図 2 3次元 FEM モデル

5. 計算結果

図 3 に、長手方向を考慮しない 2DFEM-SEA の結果を示す。低~中域の周波数帯で昨年度の結果よりも騒音予測の精度が向上していることがわかる。特に 40~500Hz 辺りの周波数帯において非常によい結果が得られている。

図 4 に、長手方向を考慮した 3DFEM-SEA 法による計算結果を示す。この図から、低~

中周波数域の計算結果は 2DFEM-SEA とほぼ変わらない値を示している。しかし、中~高周波数域において音圧レベルの低下が見られ、より精度が向上していることが分かる。これは長手方向を考慮したことによるモードの影響が要因であると考えられる。

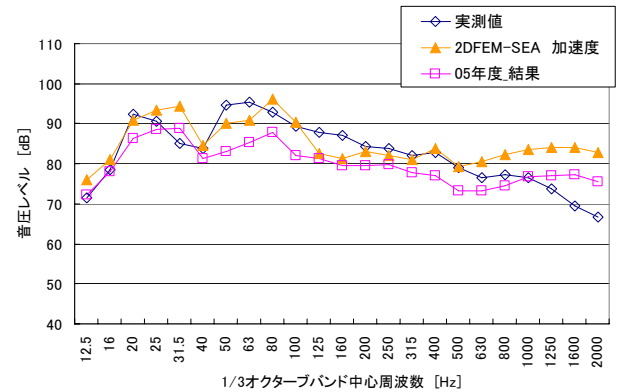


図 3 SEA 計算結果 長手方向考慮無し

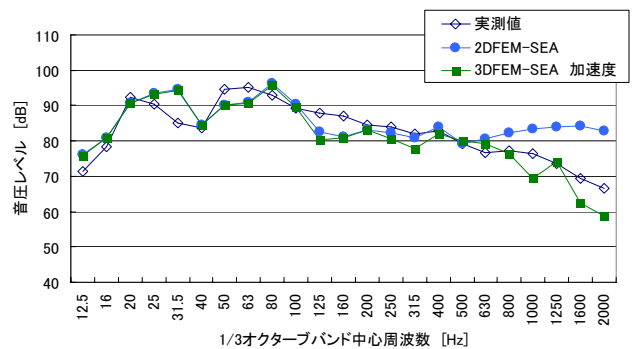


図 4 SEA 計算結果 長手方向考慮有り

6. まとめ

本研究の結果から以下のことがわかった。

まず、昨年度までの SEA 法から、実測値を用いない軌道用防振ゴムの評価が可能な FEM-SEA 法を開発することが出来た。

次に、FEM-SEA 法を用いた固体音伝播予測を行い、昨年度と比較して騒音予測制度を向上させることが出来た。

最後に、2D FEM-SEA と 3DFEM-SEA の計算結果の比較を行い、FEM モデルにおける橋梁の長手方向を考慮することの有用性を評価できた。